ÜBER

DIE ROTATIONSZEIT DER SONNE

VON

DR. A. SCHELLER,

ADJUNKT DER K. K. STERNWARTE IN PRAG.

Mit 1 Textfigur.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 19. MÄRZ 1908.

Der Zweck der vorliegenden Abhandlung ist, einen Beitrag zu der besonders in der letzten Zeit durch die von Dunér, Halm und Adams durchgeführten spektroskopischen Bestimmungen der Rotationszeit der Sonne angeregten Frage nach der Veränderlichkeit der Rotationsperiode zu liefern. Der Untersuchung wurden die während der Jahre 1890 bis 1902 am erdmagnetischen Observatorium zu Potsdam erhaltenen registrierten Aufzeichnungen der magnetischen Deklination zugrunde gelegt. Der eigentlichen Bearbeitung des erwähnten Materiales geht ein kurzer historischer Überblick über die für die Rotationszeitbestimmung herangezogenen Methoden und die bisher erhaltenen Resultate voraus.

Seit der bald nach der Erfindung des Fernrohres erfolgten Entdeckung der Sonnenflecken durch die fast gleichzeitigen Beobachtungen von Johannes Fabricius, Galileo Galilei, Thomas Harriot und Christoph Scheiner hat sich in den verflossenen drei Jahrhunderten ein gewaltiges Beobachtungsmaterial angehäuft, welches die anfangs nur vermutete Rotation der Sonne mit ziemlicher Genauigkeit zu bestimmen gestattete, andrerseits aber auch in Bezug auf die Zeiten und die Häufigkeit des Auftretens der Fleckenphänomene deutlich verschiedene Periodizitäten erkennen ließ. Bereits Christoph Scheiner hatte aus der ersten längeren Beobachtungsreihe einen Wert für die wahre Rotationsdauer der Sonne, und zwar $25^1/_3$ Tage erhalten. Scheiners Methode der Fleckenbeobachtungen bestand darin, daß er das Verschwinden des Fleckes an einem Sonnenrande und sein Wiederauftauchen am anderen Rande beobachtete; die Zwischenzeit war demnach gleich der halben Rotationsdauer der Sonne. Naturgemäß gibt diese Beobachtungsart nur minder genaue Resultate. Trotzdem behielt Scheiners Wert lange Zeit Geltung. Von Dominik Cassini und Flamsteed wurden zuerst jene Methoden eingeführt, welche mit Hilfe von

einfachen geometrischen Sätzen aus zu mindest drei zu verschiedenen Zeiten angestellten Positionsbestimmungen eines Fleckes auf der Sonnenoberfläche sämtliche Rotationselemente — also Rotationsdauer und Lage der Rotationsachse — abzuleiten gestatten. Solcher Methoden gibt es sehr viele[1]; in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts war die Bestimmung der Rotationszeit der Sonne ein Lieblingsproblem der Astronomen, mit welchem sich selbst Männer wie Euler, Lagrange, Lalande, Cagnoli u. a. m. beschäftigten. In nachstehender Tabelle sind einige der aus Fleckenbeobachtungen resultierenden Rotationszeiten unter Beifügung der Beobachtungsepoche angeführt.[2]

	Tage	Epoche
Scheiner	25·330	1675
Cassini d. j.	25·583	1678
De la Hire	25·396	—
Fixlmillner	25·583	1770
Lalande	25·417	1776
Delambre	25·01	1775
Böhm	25·521	1833
Bianchi	25·35	1839
Laugier	25·34	1840
Kysäus	25·09	1841
Carrington	25·380	1850
Wolf	25·182	1854
Spörer	25·234	1866
Wilsing	25·172	1882

Die angeführten Werte für die wahre oder siderische Rotationszeit weisen beträchtliche Unterschiede auf. Diese haben einerseits darin ihren Grund, daß die Sonnenflecke infolge ihrer oft rasch veränderlichen Gestalt und Größe für präzise Beobachtungen nicht geeignete Objekte darstellen. Andererseits bilden die häufig auftretenden Eigenbewegungen der Flecke, die nicht von der Rotation der Sonne herrühren, Fehlerquellen, welche sich nur durch die Benützung einer möglichst großen Anzahl von Beobachtungen aus dem Resultate eliminieren lassen. Die Rotationsbestimmungen aus dem 18. Jahrhunderte und die später nach einer Pause von mehr als 50 Jahren in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wieder aufgenommenen diesbezüglichen Arbeiten bis auf Carrington beruhen meist auf drei Beobachtungen eines Fleckes während einer Sichtbarkeitsperiode, also bloß eines Teiles der Rotationszeit, so daß auch diese mathematisch zwar sehr scharfsinnigen Methoden keine genauen Resultate zu liefern vermochten. Weiters haben bereits die älteren Beobachter erkannt, daß die Rotationsdauer je nach der Lage der beobachteten Flecke nicht unbeträchtlich — zwischen 25 und 28 Tage — variiert. Diese bereits von Scheiner gemachte Bemerkung wurde von Galilei als Irrtum hingestellt, doch weder diesem noch den späteren Astronomen des 18. Jahrhundertes gelang es, eine größere Genauigkeit zu erzielen, beziehungsweise eine Erklärung für die Verschiedenheiten zu finden. Von den Beobachtern des 19. Jahrhundertes war es bloß Laugier, welcher im Jahre 1841 in einer kurzen Notiz[3] darauf hinwies, daß die Verschieden-

[1] Vergl. E. Gelcich, Die ersten Bestimmungen der Rotationsdauer der Sonne durch Beobachtung der Sonnenflecke, Zeitschrift f. M. u. Ph. 1889.

[2] Vergl. J. G. Böhm, Beobachtungen von Sonnenflecken und Bestimmung der Rotationselemente der Sonne. Denkschrift der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, Bd. III, 1852.

P. A. Secchi, Die Sonne, übersetzt und herausgegeben von H. Schellen. Braunschweig 1872.

[3] Compt. Rend. 1841, XII.

heiten der aus den Fleckenbeobachtungen resultierenden Rotationszeiten in einem gewissen Zusammenhange mit den Verschiedenheiten der heliographischen Breiten der beobachteten Flecken stehen, was aber weiter keine Beachtung fand. Böhms aus den Jahren 1833—1836 stammende Beobachtungen hätten wohl näheren Aufschluß geben können, doch waren sie trotz ihrer erst im Jahre 1852 erfolgten Veröffentlichung zu wenig übersichtlich geordnet, um das eigentliche Rotationsgesetz erkennen zu lassen. Böhm konnte aus seinen Beobachtungen bloß konstatieren, daß »die Sonnenflecke auf beiden Hemisphären gleich zahlreich« und »in einer Zone, die etwa durch $\pm$ 20° der heliographischen Breite geht, am häufigsten erscheinen, während ihre Zahl von dort, wie es scheint, zu beiden Seiten nach demselben Gesetze anfänglich nur langsam, dann rasch abnimmt«.[1]

Erst die späteren, systematisch durchgeführten Beobachtungsreihen, deren erste Carrington[2] zu verdanken ist, haben für die Erkennung des Rotationsgesetzes wirklich verwendbares Material geliefert. Aus seiner achtjährigen, von November 1853 bis März 1861 durchgeführten Beobachtungsreihe leitete Carrington das interessante Resultat ab, daß die Winkelgeschwindigkeit der Sonnenflecken infolge der Rotation der Sonne eine mit der heliographischen Breite im Zusammenhange stehende Veränderlichkeit aufweise derart, daß die in der Nähe des Äquators befindlichen Flecke eine geringere Rotationszeit ergeben, als die höheren Breiten angehörenden.

Die aus den Beobachtungen resultierenden Werte der Winkelgeschwindigkeit stellte Carrington durch eine empirische Formel dar:

$$\xi = a + b \sin^{7/4}\varphi;\ a = 14^{\circ}.417,\ b = -2^{\circ}.750,$$

wo ξ die der heliographischen Breite φ zugehörende Winkelgeschwindigkeit, a und b aus den Beobachtungen zu berechnende Konstanten sind. Außer diesem Rotationsgesetze fand Carrington noch eine weitere interessante Abhängigkeit zwischen der elfjährigen Häufigkeitsperiode der Flecke[3] und ihrer Verteilung auf der Sonnenoberfläche: Die Flecke, welche sehr selten über 30° heliographische Breite hinaus auftreten, haben zu verschiedenen Zeiten verschiedene Verteilung. Vor dem Häufigkeitsminimum ist die Breite, als Mittel der Breiten der auftretenden Flecke genommen, klein, nimmt nach dem Minimum plötzlich stark zu und wird dann wieder langsam kleiner.

Die von Carrington entdeckten beiden Gesetze fanden durch die an seine Reihe anschließenden großen Beobachtungsreihen anderer Astronomen, so vornehmlich durch die größte von Spörer[4] in den Jahren 1861 bis 1893 durchgeführte, ihre vollständige Bestätigung. Spörer stellte als Ausdruck für seine Beobachtungen gleichfalls eine empirische Formel auf:

$$\xi = a + b \cos\varphi;\ a = 8^{\circ}.548,\ b = 5^{\circ}.798,$$

während Faye aus einer Diskussion der Carrington'schen Beobachtungen zur Wahl des Ausdruckes:

$$\xi = a + b \sin^2\varphi;\ a = 14^{\circ}.367,\ b = -3^{\circ}.100$$

kam und diesen Ausdruck durch die Hypothese begründete[5], daß vertikale, aus dem Innern des Sonnenkörpers gegen die Oberfläche gerichtete Strömungen, deren Ausgangspunkte sich auf einer sphäroidischen Fläche befinden, als Ursache der Veränderlichkeit der Winkelgeschwindigkeit zu betrachten seien. Das

---

[1] Vergl. Böhm, l. c. p. 74.

[2] Observations of the Spots on the Sun, from November 9, 1853, to March 4, 1861, made at Redhill by R. C. Carrington, F. R. S., London and Edinburgh 1863.

[3] Auf den elfjährigen periodischen Wechsel der Fleckenhäufigkeit wies zuerst Schwabe (Astr. Nachr. 495) im Jahre 1844 als Resultat seiner seit 1826 betriebenen regelmäßigen Sonnenbeobachtungen hin.

[4] Spörer, Zusammenstellung der aus mehrjährigen Beobachtungen von Sonnenflecken gewonnenen Resultate. Anclam 1868. Vergl. weiter die Bände 1, 2, 4 und 10 der Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam.

[5] Vergl. Compt. Rend. 1865 u. f.; Astr. Nachr. 1717.

sichere Resultat sämtlicher Untersuchungen ist demnach die von der heliographischen Breite der Flecke abhängige Rotationsdauer derjenigen Oberflächenschichten der Sonne, welchen die Flecke angehören.

Das folgende Täfelchen enthält die Rotationszeiten für die verschiedenen Breiten, wie sie sich als Durchschnittswerte ergeben:

Heliographische Breite	Rotationszeit: Tage
0°	25·0
± 10°	25·2
± 20°	25·7
± 30°	26·5
± 40°	27·4

Bestimmungen aus einzelnen Flecken können von diesen Zahlen beträchtliche Abweichungen zeigen, die dann durch die Eigenbewegung der Flecke hervorgerufen sind.

Nicht unerwähnt darf bleiben, daß Faye die Carrington'schen Angaben der Rotationsgeschwindigkeiten mit den sich aus der von Spörer aufgestellten Formel ergebenden Werten verglich. Faye kam zu dem Resultate[1], daß die Carrington'schen Werte durchschnittlich um 0·16 Tage zu klein sind. Nach Fayes Meinung wären derartige Abweichungen viel zu groß, als daß sie Beobachtungsfehlern zur Last gelegt werden könnten, und er hält dafür, daß deren Grund in einer wirklichen Verschiedenheit der Rotationsgeschwindigkeiten während der beiden Beobachtungsepochen (Carrington 1856 und 1857, Spörer 1862 bis 1865) zu suchen sei. In dieser Bemerkung liegt wohl die erste Vermutung einer Variabilität des Rotationsgesetzes.

Das Auftreten der Sonnenflecke bis zu höchstens 35° Breite ließ es natürlich nicht zu, das Rotationsgesetz auch für höhere Breiten durch Beobachtungen zu erweisen, so daß für die Aufstellung eines allgemeinen Gesetzes für die Sonne nur der Weg der Analogie übrig blieb. Auch die Beobachtungen der Sonnenfackeln wurden zur Ableitung des Rotationsgesetzes herangezogen, doch brachten auch diese Beobachtungen nicht den gewünschten Erfolg, da sie gleich den Sonnenflecken nur in einer beschränkten Zone beobachtet wurden, und außerdem gegenüber den Flecken noch den Nachteil einer viel unsichereren Pointierung bei einer zeitlich auf wenige Tage beschränkten Beobachtbarkeit haben.

Immerhin sind die so gefundenen Resultate interessant und der Anführung wert. Wilsing's Untersuchungen[2] an Fackelbeobachtungen im Jahre 1882 führten zu dem merkwürdigen Resultate, daß die Rotationsgeschwindigkeiten entgegen den aus Fleckenbeobachtungen gewonnenen Werten sich für alle Breiten durch eine Konstante ausdrücken lassen; Wilsing bestimmt diese konstante Winkelgeschwindigkeit mit 14°27 entsprechend einer wahren Rotationszeit von 25·23 Tagen. Wilsing's Untersuchungen stehen diejenigen von Stratonoff[3] und Belopolsky[4] entgegen, die ihrerseits eine gute Übereinstimmung mit den aus den Flecken berechneten Werten, wie auch die Giltigkeit der Spörer'schen Formel für ihre Beobachtungen finden. Alle Fackeluntersuchungen leiden an dem Mangel, daß sie auf nur wenige Tage auseinanderliegenden Beobachtungen basieren. Erst die in neuerer Zeit mit dem Spektroheliographen gemachten Sonnenaufnahmen gestatten, weiter auseinanderliegende Positionsbestimmungen miteinander zu verbinden, und dürften daher für die Ermittlung des Rotationsgesetzes wertvolle Beiträge liefern. Doch

---

[1] Compt. Rend. LXI, p. 474.

[2] Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam, Bd. 4, desgl. Astr. Nachr. 2852.

[3] Astr. Nachr. 3275 und 3344.

[4] Memorie della Societa degli Spetroscopisti Italiani, Nov. 1892.

sind die bisher an der Yerkes-Sternwarte von Fox gewonnenen Resultate noch nicht in extenso publiziert und daher einer eingehenden Bearbeitung nicht zugänglich.

Ein weiterer Grund für die Verschiedenheit der erlangten Resultate dürfte auch darin gelegen sein, daß die von Wilsing beobachteten Fackeln der heliographischen Zone von 6° bis 15° jene von Belopolsky aber der Zone 23° bis 35° angehören, in beiden Fällen Zonen, die viel zu klein sind, um über die Konstanz, beziehungsweise Abnahme der Rotationszeiten mit zunehmender Breite zu entscheiden. Stratonoffs Untersuchungen beziehen sich allerdings auf Fackeln, welche in allen Breiten bis zu 40° beobachtet wurden. Die aus dieser Reihe resultierenden Werte zeigen einen Gang, der für den Rotationswinkel der Fackeln eine beträchtlich langsamere Änderung mit zunehmender Breite ergibt, als die aus Fleckenbeobachtungen abgeleiteten Wertreihen zeigen.

Stratonoffs Wert für die äquatoriale Winkelgeschwindigkeit beträgt 14°61 entsprechend einer siderischen Rotationszeit von 24·66 Tagen. Die Übereinstimmung des Stratonoff'schen Geschwindigkeitswertes für 15° Breite (14°24) mit der von Wilsing gefundenen konstanten Geschwindigkeit (14°27) dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die meisten von Wilsing beobachteten Fackeln zwischen 9° und 15° Breite lagen.

Eine weitere Methode für die Rotationszeitbestimmung ergab sich, als man erkannte, daß sich gleichzeitig mit den auffallenden Veränderungen auf der Sonnenoberfläche entsprechende Veränderungen in gewissen meteorologischen Erscheinungen, besonders aber in den Wirkungen der erdmagnetischen Kraft abspielen. Bereits im Jahre 1843 hatte der Physiker Nervander[1] die Rotationsdauer der Sonne aus Temperaturreihen zu ermitteln versucht. Bald darauf unterzog auch Buijs-Ballot[2] verschiedene lange Reihen von Temperaturbeobachtungen einer Untersuchung und fand untereinander gut übereinstimmende Perioden, deren Mittelwert er mit 27·682 Tagen, entsprechend einem Werte für die wahre Rotationszeit von 25·732 Tagen, angibt, während Nervander hiefür 27·26 beziehungsweise 25·37 Tage fand. Auch einen Einfluß auf den Barometerstand infolge der Sonnenrotation glaubte man feststellen zu können, und Hornstein[3] schloß aus der Bearbeitung von Luftdruckbeobachtungen auf eine Rotationszeit von 24·12, Broun[4] aus gleichen Untersuchungen auf 24·13 Tagen. Am meisten ausgesprochen und leichtesten erkennbar ist der Einfluß der Sonnentätigkeit auf die Stärke und Richtung der erdmagnetischen Kraft. Durch die Arbeiten von Sabine, Wolf und Lamont ist nachgewiesen, daß die tägliche Variation der erdmagnetischen Elemente einer elfjährigen Periode unterliegt, welche ein getreues Spiegelbild der Häufigkeitsperiode der Sonnenflecken ist. Von der Ansicht ausgehend, daß nicht nur die Gesamtheit der auftretenden Flecken, sondern auch jeder einzelne einen gewissen Einfluß auf den magnetischen Zustand der Erde ausüben muß, welcher Einfluß sich infolge der durch die Rotation der Sonne sich ändernden Entfernung in seiner Stärke ändern muß, unternahm es zuerst Hornstein[5] aus den Schwankungen der erdmagnetischen Kraft die der Sonnenrotationsdauer entsprechende Periode abzuleiten. Aus den Deklinationsbeobachtungen in Prag und Wien und den Inklinationsbeobachtungen in Prag im Jahre 1870 berechnete er eine Periode von 26·33 Tagen, die, mit der synodischen Rotationszeit der Sonne identifiziert, als wahre Rotationszeit 24·55 Tage ergibt, in fast genauer Übereinstimmung mit dem Werte, den Spörer für die Rotationszeit der Sonnenflecke in der Äquatorialzone der Sonne gefunden hat. Nach

---

[1] Vergl. Pogg. Annal. 58, 1843.

[2] Vergl. Pogg. Annal. 66 und 68.

[3] C. Hornstein, Über die Abhängigkeit der täglichen Variationen des Barometerstandes von der Rotation der Sonne. Sitzb. Bd. 67.

[4] Compt. Rend. Bd. 76.

[5] C. Hornstein, Über die Abhängigkeit des Erdmagnetismus von der Rotation der Sonne. Sitzber. der kais. Akad. d. Wiss., Wien, Band 64.

Hornstein wurden noch vielfach derartige Bestimmungen gemacht, deren Resultate in nachstehender Zusammenstellung[1] enthalten sind:

		Tage	Jahr
Broun:	Markerstown	25·92	1844 und 45,
»	Greenwich	25·86	1850—51, 1868—70,
Hornstein:	Prag, Deklination	26·69	1870,
»	Prag, Inklination	26·03	1870,
»	Wien, Deklination	26·39	1870,
»	Aus den Beobachtungen in Petersburg	26·24	1870,
Schmidt:[2]	Batavia, Deklination	25·87	1867—71, 1873—75, 1883—85,
Müller:	Aus den Störungen aller Elemente zu Pawlowsk:		
»	Aus den Störungen der Deklination	25·66	1882—83,
»	» » » » Horizontalintensität	25·79	1882—83,
»	» » » » Vertikalintensität	25·86	1882—83,
Liznar:	» » » » Deklination in Wien, 1. Juli 1882 bis 31. Dezember 1883, und zwar:		
	Aus den westlichen Störungen	25·95	1882—83,
	» » östlichen »	26·05	
	» der täglichen Schwankung der Deklination in Wien	26·05	1882—84,
	» » » » » » » Kremsmünster	26·10	1882—84,
	» der täglichen Schwankung der Deklination in Pawlowsk	25·89	1878—84,
	» der täglichen Schwankung der Horizontalintensität in Pawlowsk	26·03	1878—84,
	» der täglichen Schwankung der Vertikalintensität in Pawlowsk	25·64	1878—84,
	» der täglichen Schwankung aller drei Elemente auf den Polarstationen Fort Rae und Jan Mayen	25·85	1882—83.

Im Mittel aus allen diesen Bestimmungen ergibt sich die Periode zu 26·00 Tagen, welche Zeit man unter der Voraussetzung, daß die 26tägige Periode der erdmagnetischen Elemente eine Folge der Sonnenrotation ist, als einen der Wahrheit sehr nahe kommenden Wert für die synodische Rotationszeit der Sonne bezeichnen kann. Die zugehörige wahre Rotationszeit ergibt sich zu 24·27 Tagen.

Als allen anderen Methoden weit überlegen, hat sich die Bestimmung der Rotationsdauer auf spektroskopischem Wege erwiesen. Bereits Zöllner schlug vor, die Rotationsverhältnisse mit Hilfe der Linienverschiebung nach dem Doppler'schen Prinzipe zu ermitteln. Die ersten Versuche machte im Jahre 1871 H. C. Vogel.[3] Seine Beobachtungen der Linienverschiebung ergaben stets den Sinn der Drehung des Sonnenkörpers richtig, doch erreichten die Messungen nicht die genügende Genauigkeit. Young leitete aus Beobachtungen, die er mit Hilfe von Rutherfurd'schen Diffraktionsgittern anstellte, eine äquatoriale Geschwindigkeit von 2·29 *km* in der Sekunde ab, was einer siderischen Rotationszeit von 22·11 Tagen entspräche, demnach einen viel zu kleinen Wert lieferte.

Von weitergehenden, mit weit vollkommeneren Mitteln ausgeführten Untersuchungen sind bis in die letzte Zeit bloß vier bekannt geworden. Es sind dies die Beobachtungsreihen von Crew[4] in Haver-

[1] Die Zusammenstellung ist zum Teile aus Liznars Abhandlung »Über die 26tägige Periode der täglichen Schwankung der erdmagnetischen Elemente« Sitzber. Bd. 94, entnommen.

[2] A. Schmidt, Über die 26-tägige periodische Schwankung der erdmagnetischen Elemente. Sitzber. Bd. 96.

[3] Vergl. Scheiner, Die Spektralanalyse der Gestirne, p. 345 ff.

[4] Haverford College Publ. 1889.

ford 1889, von Dunér[1] in Lund, später in Upsala in den Jahren 1887 bis 1889 und 1899 bis 1901, weiters die von Halm[2] in Edinburgh von 1901 bis 1906 und schließlich die von W. Adams[3] in Mt. Wilson in Kalifornien während der Jahre 1906 und 1907. Crews Untersuchungen ergaben als mittlere Differenz der Rotationsgeschwindigkeit der beiden Sonnenränder am Äquator 3·86 *km*, entsprechend einer siderischen Rotationsdauer der Sonne von 26·23 Tagen. Crew führte seine Beobachtungen bis zur heliographischen Breite 70° aus. Das merkwürdige Resultat seiner Messungen, die gleichförmige Rotationsgeschwindigkeit der absorbierenden Schichte in allen Breiten, entspricht wohl den oben erwähnten, von Wilsing aus Fackelbeobachtungen hergeleiteten Ergebnissen, steht aber nicht im Einklang mit den Untersuchungen der anderen Beobachter. Dunér, welcher gleich Crew ein Rowland'sches Gitter für seine Messungen benützte, fand eine vollkommene Übereinstimmung zwischen dem aus Fleckenbeobachtungen und dem aus seinen spektroskopischen Beobachtungen resultierenden Rotationsgesetze. Die in den verschiedenen Breiten gewonnenen Winkelgeschwindigkeiten lassen sich vollständig durch eine der von Faye für Fleckenbeobachtungen aufgestellten, analogen Formel darstellen. Dunér gibt zwei solche Formeln, wie sie sich auf Grund zweier verschiedener Reduktionsverfahren ergeben:

$$1.\ \xi = 14^\circ 90 - 4^\circ 41 \sin^2 \varphi.$$
$$2.\ \xi = 14^\circ 81 - 4^\circ 21 \sin^2 \varphi.$$

Die äquatorealen siderischen Rotationszeiten folgen daraus mit 24·16 beziehungsweise 24·31 Tagen

Die mit den Dunér'schen parallel laufenden Beobachtungen Bergstrands führen zu der Formel:

$$\xi = 14^\circ 57 - 5^\circ 35 \sin^2 \varphi$$

und der zugehörigen Umdrehungsdauer im Äquator 24·71 Tage.

Aus der Vergleichung der in den beiden Beobachtungsepochen gemessenen Geschwindigkeiten glaubte Dunér »mit beträchtlicher Sicherheit« schließen zu können, daß »in den Geschwindigkeiten keine bemerkenswerte Veränderung mit der Zeit stattgefunden«, ebenso »auch in den drei konsekutiven Jahren (1899, 1900 und 1901) sich keine gesetzmäßige Änderung gezeigt habe«. Um so interessanter war das Resultat der Halm'schen in den Jahren 1901—1906 ausgeführten Untersuchungen. Während die Halm'schen Beobachtungen im Jahre 1901 eine vollständige Übereinstimmung mit den Dunér'schenMessungen zeigen, ergibt sich in den folgenden Jahren eine beträchtlich geringere Zunahme der Rotations dauer mit wachsender Breite. Die Halm'schen Beobachtungen, welche die von Dunér an Genauigkeit noch übertreffen, wurden in der direkten Absicht begonnen, um zu untersuchen, ob die bisherige Anschauung der unveränderlichen Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche richtig sei, oder ob auch das Rotationsgesetz durch die sich während einer Fleckenperiode auf der Sonne abspielenden Vorgänge beeinflußt werde. Während Dunér die Rotationsgeschwindigkeiten bloß für sechs heliographische Breiten bestimmt, für 0°, 15°, 30°, 45°, 60° und 75°, sind Halm's Beobachtungen über sämtliche Breiten verteilt, wodurch eine kontinuierlichere Kurve erreicht wird, als sie Dunérs Messungen zulassen. Die Diskussion der Gesamtreihe führt Halm in der Weise, daß er seine Beobachtungen einmal durch die Faye'sche Formel, die aus den Carring ton'schen Fleckenbeobachtungen abgeleitet wurde:

$$\xi = 14^\circ 53 - 2^\circ 50 \sin^2 \varphi,$$

ein andermal durch die von Dunér aufgestellte Formel:

$$\xi = 14^\circ 80 - 4^\circ 17 \sin^2 \varphi$$

darzustellen sucht. Gegen die nach der ersten Formel berechneten Werte zeigen die Beobachtungen Abweichungen, welche den für die einzelne Beobachtung angegebenen mittleren zufälligen Fehler nicht

---

[1] Nova acta Reg. Soc. scient. Upsalensis. Ser. IV, Vol. I, Nr. 16.

[2] Astr. Nachr. 4147.

[3] Contributions from the Solar Observatory Mt. Wilson, California. Nr. 20.

übersteigen. Die Dunér'sche Formel läßt dagegen in den Edinburger Beobachtungen einen direkt systematischen Gang aufweisende Fehler zurück. Die Diskussion der Jahresresultate führte zur Aufstellung von einer Formel für jedes einzelne Jahr, Formeln, welche die in den einzelnen Breiten beobachteten Rotationsgeschwindigkeiten in Kilometer ebenso wie in der Faye'schen Formel von $\sin^2\varphi$ abhängig darstellen. Gleiche Formeln werden auch für die Dunér'schen Beobachtungen angegeben.

Die Koeffizienten *a* und *b* der Gleichungen sind von Halm folgendermaßen angegeben:

Ort und Epoche der Beobachtungen		*a*	*b*	Rotationswinkel im Äquator	Rotationszeit im Äquator
Upsala	1899.5	1·98	— 0·57	14°098	25·537
	1900.5	2·11	— 0·40	15·023	23·968
	1901.5	2·09	— 0·79	14·881	24·192
Edinburg	1901.7	2·06	— 0·70	14·667	24·545
	1902.5	1·973	— 0·560	14·048	25·632
	1903.5	2·036	— 0·251	14·496	24·834
	1904.5	2·075	— 0·271	14·774	24·366
	1905.5	2·039	— 0·245	14·518	24·802
	1906.5	2·010	— 0·294	14·311	25·138
Mt. Wilson	1907.0	—	—	14·72	24·46

In die Tabelle wurden außerdem die sich aus den Jahresformeln ergebenden Rotationswinkel und -zeiten im Äquator aufgenommen. Die Zusammenstellung enthält auch die von Adams gefundenen entsprechenden Werte. Des letzteren Untersuchungen basieren bloß auf an 10 Tagen in der Zeit von Mai 1906 bis Juni 1907 angestellten Beobachtungen und können für die Frage nach einer etwaigen Veränderlichkeit der Rotationsdauer nichts beitragen.

Wie die angeführten Werte der Koeffizienten *a* und *b* zeigen, ist für das Jahr 1901 die Übereinstimmung der Dunér'schen und der Halm'schen Reihe eine vollständige. Der Gang in den Koeffizienten *a* zeigt deutlich eine dreijährige Periode, die auch in der Reihe der Rotationswinkel und -zeiten bemerkbar wird. Außerdem weist die Reihe der *b* zunächst bis 1901 eine Zunahme, von da ab eine beträchtliche Abnahme auf. Dementsprechend ergeben die Formeln die Rotationszeit in den höheren Breiten bis zum Jahre 1901 zunehmend, dann abnehmend. Da die Zeit des Fleckenminimums in das Jahr 1901, die des Maximums auf 1905 fällt, ist ein Zusammenhang der genannten Variation mit der wechselnden Sonnenfleckentätigkeit nicht ausgeschlossen. Ob aber diese Veränderungen des Rotationsgesetzes periodisch sind und auf Rechnung der elfjährigen Periode der dynamischen Vorgänge auf der Sonne gesetzt werden dürfen, kann nur durch eine längere, mindestens eine Fleckenperiode umspannende Beobachtungsreihe festgestellt werden. Eine spektroskopische Reihe von dieser zeitlichen Ausdehnung gibt es derzeit noch nicht, wohl aber liegt die Ansicht nahe, daß es vielleicht möglich sein könnte, speziell bei Verwertung von registrierten Aufzeichnungen der erdmagnetischen Elemente eine derartige zeitliche Veränderung der Rotationsdauer der Sonne nachweisen zu können.

Der Verfasser machte den Versuch, eine derartige Untersuchung mit Hilfe der Deklinationsreihe der Potsdamer erdmagnetischen Variationsbeobachtungen in der Weise auszuführen, daß für die einzelnen aufeinanderfolgenden Jahre die Werte für die 26tägige Periode gerechnet wurden. Die Potsdamer Reihe beginnt mit dem Jahre 1890 und liegt bis 1902 publiziert vor, umfaßt demnach einen Zeitraum von 13 Jahren. Die Beobachtungen sind mit Registrier-Instrumenten gewonnen, und sind die von den Registrierkurven abgelesenen Werte für die einzelnen Tagesstunden angegeben[1]. Die Methode, welche einer Perioden-

[1] Veröffentlichungen des königl. preußischen Meteorologischen Instituts. Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen in Potsdam in den Jahren 1890 bis 1902.

berechnung zugrunde gelegt wird, ist die allgemein angewandte Methode der harmonischen Analyse. Für den vorliegenden Zweck wurde das zuerst von Hornstein angegebene Verfahren benützt. Für die Rechnung wurden nicht die absoluten Werte der Deklination herangezogen, sondern die Amplituden, wie sie sich als Differenzen der an einem Tage beobachteten größten und kleinsten Deklination ergeben. Eine Rechnung mit diesen Werten ist, wie Liznar gezeigt hat, wohl angängig, weil die Amplituden ebenfalls den periodischen Schwankungen unterworfen sind. Bei ihrer Benützung entfällt die zeitraubende Elimination der säkularen Änderung. Bei der ersten Durchsicht der Beobachtungen zeigte es sich, daß die in manchen Jahren ziemlich oft auftretenden unregelmäßigen magnetischen Störungen den Charakter der gesuchten 26tägigen Periode stark verwischen würden, wenn nicht eine genügende Anzahl von Beobachtungen zur Ermittlung der Periode vereinigt würde. Aus diesem Grunde wurden die Beobachtungen nicht eines, sondern je dreier aufeinander folgenden Jahre in Gruppen zu 24, 25, 26, 27 und 28 Tagen geordnet. Auf diese Weise erscheinen die aus den Jahren 1890, 1891 und 1892 gebildeten Gruppen gültig für das Jahr 1891, die aus den Jahren 1891, 1892 und 1893 gültig für das Jahr 1892 u. s. w., so daß durch Vereinigung von je drei aufeinander folgenden Jahren aus dem gesamten 13jährigen Materiale 11 für die Jahre 1891 bis 1901 als gültig anzusehende Gruppen ermittelt wurden. Diese Werte sind im Anhang in den Tafeln I gegeben.

Das bekannte Hornstein'sche Verfahren beruht im weiteren darauf, daß das Mittel jeder der Gruppen von 24 bis 28 Tagen gebildet wird, und weiter für jede der Zahlen einer jeden Gruppe die Konstanten der Formel

$$y = b_0 + b_1 \sin\left(v + \frac{360}{T} x\right)$$

berechnet werden, wobei b_0, b_1 und v die zu bestimmenden Konstanten, T die Länge der Periode und x den Tag in der Periode bedeutet. In den Tafeln II sind die auf diese Weise gefundenen Werte der Konstanten angeführt. Nimmt man die Amplitude als Funktion der Periode T an, so hat man zu setzen

$$A = \alpha + \beta\,(T-25) + \gamma\,(T-25)^2,$$

in welcher Gleichung die Konstanten α, β und γ zu bestimmen sind. Zur Konstantenermittlung ergeben sich aus den in den Tafeln II mitgeteilten Werten die in Tafel III gegebenen Bestimmungsgleichungen, aus denen für die Konstanten in den einzelnen Jahren die eben dort angeführten Werte folgen. Durch Differenziation der Amplitudengleichung erhält man den wahrscheinlichsten Wert der Periodendauer T. Nachstehende Zusammenstellung gibt als Schlußresultat der Rechnung die Werte für die synodische und die siderische Rotationszeit und den daraus resultierenden Rotationswinkel.

Jahr	Synodische	Siderische	Rotations-geschwindigkeit
	Rotationszeit		
1891	26·524	24·728	14°56
1892	26·049	24·315	14·80
1893	26·106	24·365	14·78
1894	26·845	25·005	14·42
1895	25·750	24·054	14·97
1896	25·777	24·077	14·95
1897	27·701	25·748	14·00
1898	24·987	23·387	15·39
1899	26·366	24·592	14·65
1900	26·797	24·964	14·42
1901	25·763	24·067	14·96

Bildet man aus den einzelnen Jahreswerten die Mittel, so erhält man für die synodische Rotationszeit 26·24 Tage, für die siderische 24·48 Tage und für die Rotationsgeschwindigkeit 14°71, in guter Übereinstimmung mit anderen Bestimmungen. Auf den ersten Blick zeigt sich in den angegebenen Werten eine deutlich ausgesprochene dreijährige Periode. Für den Rotationswinkel fallen die Minima auf 1891, 1894, 1897 und 1900, die zugehörigen Maxima auf 1892·5, 1895 und 1898. Es ergibt sich demnach aus den magnetischen Beobachtungsreihen das gleiche Resultat, wie es Halm aus seiner spektroskopischen Reihe ableiten konnte. Eliminiert man aus der Wertreihe für den Rotationswinkel die dreijährige Periode dadurch, daß man je drei aufeinander folgende Jahreswerte zu einem Werte vereinigt, so ergibt sich der Rotationswinkel als Mittel dieser Werte zu 14°72 ± 0°02. Die dreijährige Periode läßt sich demnach fast vollständig eliminieren. Eine graphische Darstellung der Jahreswerte des Rotationswinkels zeigt jedoch, daß außer der dreijährigen Periode auch eine elfjährige Periode angedeutet scheint, und zwar durch die Größe der Amplituden der 3-jährigen Periode. Die Amplitude zwischen dem Maximum 1892·5 und dem Minimum 1894 des Rotationswinkels erscheint selbst als Minimum, während dem die Amplitude zwischen dem Maximum 1898 und dem zugehörigen Minimum ein Maximum darstellt.

Diese 11-jährige Periode scheint auch in den Wertreihen der in Tafel III angeführten Konstanten α, β und γ, sowie der durch diese bestimmten Amplitude A zum Ausdruck zu kommnn. Die Konstante α zeigt ein ausgesprochenes Minimum im Jahre 1893 und ein Maximum im Jahre 1899. Ein gleicher Gang ist bei den Werten der Konstanten β ersichtlich, während bei γ der umgekehrte Verlauf auftritt: 1893 ein Maximum, 1899 ein Minimum. Ebenso zeigt sich der gleiche Gang wie bei den Konstanten α und β auch in der Größe der Amplitude der 26-tägigen Periode des Erdmagnetismus A, welche in den beiden genannten Jahren ihren kleinsten, bezw. größten Wert erreicht. Da nun die beiden fraglichen Epochen die Zeiten größter (1893/94) und kleinster (1899) Fleckenhäufigkeit waren, so wird ein Zusammenhang zwischen der Sonnenfleckenfrequenz einerseits und der Größe der Amplitude der 26-tägigen erdmagnetischen Schwankung[1] sowohl, wie auch der Amplitude der dreijährigen Periode der Sonnenrotationszeit andererseits sehr wahrscheinlich, und zwar in der Weise, daß dem Sonnenfleckenmaximum die kleinsten Werte, dem Fleckenminimum die größten Werte der Amplituden entsprechen. In die graphische Darstellung der vom Verfasser erhaltenen Rotationswerte wurde auch die entsprechende Kurve nach den Halm'schen Resultaten eingezeichnet. Sie erscheint als direkte Fortsetzung der Kurve der Jahre 1891 bis 1901. Die dreijährige Periode erscheint somit gesichert und vielleicht auch die elfjährige, da die Halm'sche Kurve eine Abnahme der Amplitude zeigt, wie sie nach der Zunahme in der Scheller'schen erwartet werden muß.

---

[1] Auf eine mögliche mit der Fleckenhäufigkeit im Zusammenhang stehende Veränderung der Amplitude der 26-tägigen Periode des Erdmagnetismus hat bereits Ad. Schmidt in seiner Untersuchung: »Über die 26-tägige periodische Schwankung der erdmagnetischen Elemente«, Sitzb., Bd. 96, hingewiesen, doch im Gegensatz zu dem Resultate des Verfassers einen der Sonnenfleckenhäufigkeit parallelen Verlauf der Amplitudenschwankung vermutet.

Tafel I.

Tägliche Schwankung der Deklination, abgeleitet aus je drei aufeinanderfolgenden Jahren.

Gruppen zu 24 Tagen.

Tage	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
1	12'587	16'983	16'731	15'806	15'016	15'663	14'313	12'065	11'330	9'330	9'844
2	13.502	17.774	17.291	15.896	15.887	14.891	14.746	12.571	11.941	10.041	9.826
3	13.711	15.378	17.295	16.867	16 578	15.580	15.548	11.948	12.141	9.643	9.496
4	14.063	15.130	19.011	15.735	16.865	14.267	12.765	11.546	11.782	9.769	8.941
5	14.670	16.161	16.485	16.547	17.798	16.842	12.359	12.426	11.982	10.582	9.522
6	14.696	17.221	15.876	15.491	17.948	14.641	12.535	11.778	10.928	10.033	8.396
7	16.076	16.641	15.770	15.546	17.016	16.283	12.280	12.367	11.654	9.648	8.870
8	13.780	15.720	14.619	15.750	18.318	16.341	12.789	12.615	10.815	10.207	8.820
9	13.991	17.428	17.080	17.509	16.444	14.015	13.194	13.396	10.582	9.583	8.274
10	14.372	14.806	15.919	17.341	18.567	13.363	12.400	12.794	12.011	10.707	9.119
11	14.804	16.224	17.889	19.050	16.504	12.331	13.302	12.107	11.056	8.922	9.391
12	15.146	16.096	15.147	17.680	17.267	13.306	12.544	12 696	12.981	10.035	8.989
13	13.613	15.726	15.756	17.004	17.452	14.295	13.389	12.161	12.000	9.457	8.454
14	15.333	17.961	14.539	17.658	15 233	14.900	13.456	12.115	11.448	9.043	8.746
15	13.340	15.352	16.902	17.229	15.789	13.737	13.704	12.724	12.261	10.550	9.702
16	15.195	18.535	16.626	16.973	15.028	15.215	13.235	12.220	10.569	10.825	8.487
17	13.775	15.116	18.371	17.114	15.824	14.665	14.442	14.618	11.047	9.949	8.371
18	14.200	15.060	18.545	15.647	15.251	13.646	13.313	14.035	10.887	9.491	9.007
19	16.625	14.458	19.149	15.976	15.087	13.956	14.254	13.485	10.898	10.660	9.729
20	14.020	14.520	20.009	16.767	14.573	14.673	13.125	13.420	11.438	10.751	8.693
21	17.252	15.389	20.216	15.884	16.189	14.931	13.627	12.189	11.154	9.833	8.713
22	13.489	15.433	18.151	17.218	16.098	16.094	14.940	11.618	11.082	9.140	8.440
23	14.549	15.762	16.527	16.311	15.670	14.589	15.642	11.914	10.891	10.138	8.700
24	13.618	16.380	16.756	14.993	15.364	16.051	15.938	11.713	11.669	10.878	9.876
Mittel	14.434	16.052	17.074	16.583	16.324	14.761	13.660	12.522	11.439	9.967	9.017

Tafel I (1. Fortsetzung).

Gruppen zu 25 Tagen.

Tage	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
1	14·339	15·891	17·627	15·521	15·530	16·941	13·041	12·452	12·046	9·689	8·400
2	15.019	14.439	15.798	16.539	16.923	16.230	11.487	12.318	13.720	9.909	8.820
3	14.620	16.723	16.264	15.616	17.564	15.768	12.829	11.941	12.623	10.325	8.514
4	14.225	16.766	16.730	16.148	17.907	16.057	13.978	12.227	10.573	10.098	8.309
5	14.420	16.282	15.052	16.633	15.786	15.148	14.414	11.284	11.473	10.707	9.034
6	14.609	16.827	16.025	16.028	16.291	14.152	15.214	11.091	10.291	10.623	8.834
7	12.584	16.584	16.736	16.134	17.837	14.864	14.235	12.123	10.023	9.923	8.366
8	13.530	15.248	16.159	17.237	16.046	15.250	15.112	13.023	10.841	10.705	9.061
9	14.477	15.298	18.139	14.539	15.264	14.468	15.748	12.318	9.839	10.200	8.777
10	14.614	16.443	17.623	17.493	14.107	14.796	14.221	14.321	10.752	11.107	9.798
11	14.298	16.518	16.027	16.389	15.136	13.409	14.966	12.402	10.893	10.036	9.132
12	13.789	17.114	19.643	17.002	16.158	14.143	14.907	12.314	10.168	10.541	8.609
13	14.480	16.205	18.252	16.500	15.155	15.143	13.421	14.080	10.468	9.686	9.241
14	14.907	15.802	17.527	16.111	16.507	15.398	14.941	14.055	9.825	8.932	8.820
15	14.505	15.911	16.943	14.718	16.760	13.600	12.505	14.223	10.809	10.264	8.836
16	14.439	18.187	17.527	16.168	16.607	14.330	12.287	13.125	10.684	9.257	8.932
17	13.728	15.130	16.270	17.205	17.509	14.666	13.257	14.486	11.595	9.454	9.648
18	14.498	15.330	16.589	16.516	17.941	13.459	12.989	13.434	11.496	10.120	9.025
19	15.074	15.841	17.721	17.984	17.332	13.873	13.148	11.395	11.523	9.461	10.377
20	14.693	16.359	17.540	16.749	15.746	15.765	13.566	12.546	12.954	9.916	10.021
21	15.428	15.207	17.959	17.902	15.486	14.465	12.305	11.847	12.351	9.928	9.146
22	15.349	14.930	18.477	20.676	16.584	14.874	12.109	11.114	11.391	9.518	9.272
23	13.695	15.846	17.163	17.326	16.544	14.765	13.891	11.591	12.577	9.930	8.435
24	14.114	15.888	16.449	16.549	16.198	13.088	14.256	11.672	13.463	8.881	9.098
25	15.270	16.649	17.355	15.114	15.286	14.297	12.518	11.495	13.809	9.888	8.961
Mittel	14.428	16.057	17.104	16.592	16.328	14.758	13.654	12.515	11.447	9.964	9.019

Tafel I (2. Fortsetzung).

Gruppen zu 26 Tagen.

Tage	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
1	$13^{d}542$	$13^{d}795$	$17^{d}274$	$15^{d}914$	$16^{d}361$	$14^{d}909$	$13^{d}488$	$13^{d}153$	$10^{d}844$	$9^{d}260$	$9^{d}500$
2	12.307	13.774	14.805	15.516	17.909	15.507	13.007	12.660	10.358	10.607	9.179
3	12.463	15.281	16.237	16.581	19.855	15.470	14.098	11.781	10.691	11.044	8.307
4	13.531	15.414	14.877	18.850	19.544	14.767	14.805	12.179	10.986	10.464	8.252
5	13.295	14.859	16.305	19.600	17.566	15.505	13.326	12.121	10.967	9.905	8.833
6	13.910	15.805	19.350	17.737	17.080	14.176	12.512	12.376	10.567	9.697	8.917
7	14.669	15.617	17.962	16.412	15.823	14.242	13.002	12.352	10.574	9.445	8.029
8	14.628	14.195	17.207	15.595	15.715	14.541	13.447	10.876	9.390	8.914	8.479
9	12.576	14.955	19.078	16.998	16.095	15.402	13.467	11.169	10.050	9.176	9.038
10	13.286	17.374	17.432	16.083	16.141	14.986	12.948	11.374	10.595	10.260	8.836
11	15.564	16.919	18.357	15.576	16.693	14.650	13.774	12.317	11.759	9.512	8.617
12	15.200	18.814	17.110	16.895	17.717	15.812	13.540	12.529	11.764	9.050	8.252
13	16.229	17.283	16.086	17.088	15.874	15.405	14.017	12.955	10.064	8.809	8.593
14	15.195	15.183	18.412	14.738	16.193	15.531	12.948	11.857	10.376	9.569	9.040
15	13.566	16.331	16.807	16.088	16.309	15.109	14.264	11.814	11.098	9.778	9.314
16	14.056	14.800	16.207	16.062	16.448	14.788	12.959	14.236	12.538	9.405	9.345
17	13.405	16.150	18.093	16.702	16.179	14.262	13.098	13.867	12.352	11.560	9.600
18	15.249	17.974	16.993	18.674	14.755	14.407	14.667	13.533	15.186	10.155	8.909
19	16.805	17.479	18.226	16.048	16.309	15.721	14.983	15.724	12.102	9.364	9.998
20	16.559	18.405	17.505	18.243	14.962	15.774	15.621	12.564	11.721	10.779	10.110
21	17.990	16 488	16.867	17.681	16.252	15.259	14.255	12.605	12.226	10.683	9.919
22	15.343	15.872	17.498	17.193	14.850	13.186	12.859	11.352	13.117	11.012	8.467
23	14.426	15.879	18.452	15.000	13.609	13.695	13.260	12.593	13.393	9.419	9.036
24	13.121	17.926	16.550	14.836	17.260	13.552	11.574	12.948	10.509	11.276	9.300
25	15.045	15.574	15.714	17.931	14.571	12.169	14.564	11.528	12.364	10.155	9.400
26	13.450	15.481	15.405	15.502	14.362	14.898	14.517	13.040	11.972	9.781	9.200
Mittel	14.439	16.063	17.108	16.675	16.324	14.759	13.654	12.519	11.445	9.965	9.018

Tafel I (3. Fortsetzung).

Gruppen zu 27 Tagen.

Tage	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
1	11·638	18·278	16·610	14·700	15·727	14·007	11·966	13·100	10·934	11·339	8·049
2	12.534	16.229	16.983	15.573	14.683	16.773	12.310	16.441	11.693	11.237	8.532
3	14.195	15.027	16.964	17.054	16.005	16.083	14.730	15.571	12.585	9.905	9.195
4	14.427	16.542	18.678	15.380	17.371	17.739	15.210	14.154	10.390	9.776	9.249
5	16.365	18.422	18.432	16.107	20.219	16.154	14.205	12.571	12.463	9.329	8.910
6	12.468	14.922	15.456	16.720	20.225	16.071	14.066	11.795	10.927	9.693	8.707
7	12.683	14.551	19.083	18.569	19.207	14.144	12.788	13.012	10.146	8.893	8.115
8	16.281	14.390	17.315	18.888	16.385	14.120	11.766	12.690	9.564	9.229	8.983
9	13.881	16.676	20.227	17.144	16.575	13.055	12.505	10.939	11.798	8.771	9.137
10	16.983	18.805	16.308	16.341	14.440	13.120	11.798	11.268	10.964	9.100	9.059
11	13.795	16.590	14.912	14.710	14.466	12.559	13.393	12.498	9.827	10.381	8.327
12	13.466	15.510	16.429	15.337	15.654	13.368	12.854	13.112	10.415	10.020	9.046
13	15.773	13.793	15.993	16.547	14.320	14.300	12.207	12.054	12.788	9.788	9.454
14	14.893	12.778	17.471	17.078	14.456	13.551	12.741	12.476	12.661	8.515	9.156
15	18.032	14.302	15.627	17.166	15.812	13.237	15.925	12.698	13.973	9.337	8.837
16	15.347	15.261	15.776	16.407	19.683	14.368	14.103	12 755	14 040	11.360	9.203
17	13.833	16.595	17.987	17.617	16.825	16.352	17.293	13.153	12.187	9.805	10.385
18	15.744	17.950	21.873	17.002	16.395	18.053	16.007	11.687	11.593	11.643	9.987
19	17.210	16.013	15.605	19.565	16.710	17.970	15.625	12.860	10.808	10.203	9.947
20	13.828	14.225	15.080	19.472	18.150	17.726	14.122	11.233	12.413	9.550	9.200
21	13.705	18.638	16.138	18.536	15.630	14.215	13.065	11.630	11.680	8.733	9.546
22	13.003	16.345	18.860	15.936	15.053	14.498	14.082	10.430	10.673	9.510	8.497
23	14.610	19.450	20.060	16.213	14.197	14.095	13.570	12.153	10.682	10.195	8.670
24	14.490	15.028	17.033	14.508	13.328	12.848	12.090	11.823	11.193	9.858	8.983
25	13.318	14.055	17.300	14.575	15.195	13.673	13.270	10.838	12.090	9.510	9.331
26	12.612	16.848	14.208	16.275	16.655	13.113	14.000	11.177	10.482	11.350	8.975
27	11.990	16.443	15.241	14.233	17.258	13.405	13.147	13.745	9.995	12.148	8.070
Mittel	14.337	16.062	17.098	16.580	16.319	14.763	13.661	12.513	11.443	9.970	9.020

Tafel I (4. Fortsetzung).

Gruppen zu 28 Tagen.

Tage	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
1	14'035	16'560	19'523	17'277	14'090	13'885	12'420	13'650	11'350	10'147	8'650
2	14.390	17.907	18.007	14.302	15.142	13.365	13.570	13.975	10.160	8.958	8.657
3	17.033	16.208	18.678	15.722	15.498	13.640	18.125	12.103	9.835	9.675	8.465
4	15.810	15.680	16.220	16.188	15.623	18.120	16.880	10.869	10.218	9.190	8.118
5	13.197	15.798	18.959	15.052	20.818	19.313	14.364	10.972	9.369	8.472	9.082
6	14.587	18.336	17.998	18.390	21.216	18.733	13.885	10.644	8.869	10.028	8.977
7	15.957	15.882	17.241	20.259	18.026	15.613	12.921	10.577	10.815	9.100	8.713
8	14.249	15.736	18.928	16.913	18.180	15.061	12.721	11.357	10.357	9.605	9.185
9	14.118	15.559	18.941	16.726	18.131	15.439	13.036	12.351	10.451	10.093	8.597
10	12.921	15.682	16.108	17.713	18.077	14.661	13.118	11.367	10.969	9.403	8.895
11	13.713	15.898	17.754	17.980	16.508	16.493	14.962	11.698	10.133	9.539	10.103
12	14.182	16.213	18.049	16.100	18.050	13.329	14.180	11.359	11.254	10.482	9.723
13	14.918	16.308	17.280	16.987	17.282	15.766	13.249	13.326	12.190	9.818	9.318
14	14.374	15.718	17.080	15.911	16.813	13.910	12.115	12.836	12.433	9.798	8.464
15	13.982	15.257	16.600	14.548	14.782	12.780	13.887	13.010	12.462	11.015	8.344
16	14.314	16.297	17.697	14.097	13.013	15.085	12.416	13.618	13.375	11.098	9.090
17	16.074	19.270	16.864	14.718	13.834	13.992	14.274	13.934	13.782	10.705	8.603
18	18.682	17.808	15.203	15.195	14.603	15.384	15.136	14.649	15.600	10.439	8.939
19	17.871	16.198	14.058	15.874	17.171	16.311	12.864	15.734	15.257	10.105	11.495
20	15.835	16.010	14.041	17.290	16.880	14.544	13.300	16.346	12.972	11.498	8.928
21	13.903	14.482	16.062	17.823	16.798	13.821	14.951	13.264	11.918	9.185	8.833
22	12.574	14.867	16.782	18.593	14.629	13.608	14.816	12.285	11.154	8.987	8.808
23	13.367	15.621	17.000	16.344	16.049	13.323	13.028	11.785	10.407	9.392	8.964
24	13.490	16.023	15.323	17.820	15.930	12.539	12.244	10.567	10.469	10.457	8.713
25	13.859	14.969	16.469	17.869	14.300	13.282	12.610	12.116	10.398	10.098	8.903
26	12.449	14.333	18.513	15.674	15.033	13.031	12.287	11.587	10.546	10.551	9.733
27	11.990	14.403	17.141	17.077	14.798	12.780	12.921	12.056	11.549	10.644	9.215
28	12.303	16.526	15.595	15.772	15.990	13.105	11.908	12.459	12.177	10.585	9.021
Mittel	14.435	16.055	17.093	16.579	16.331	14.675	13.650	12.534	11.445	9.967	9.019

Tafel II.

Konstanten der Gleichungen:

$$y = b_0 + b_1 \sin\left(v + \frac{360}{T} x\right).$$

Jahr	Gruppe	b_0	b_1	v	Jahr	Gruppe	b_0	b_1	v
1891	24 Tage	14'434	0'3401	214°40'3	1895	24 Tage	16'324	1'2491	166° 22'0
	25 »	14·428	0·5843	283 2·2		25 »	16·328	0·3156	329 7·9
	26 »	14·439	1·1084	230 23·3		26 »	16·324	0·8523	71 6·3
	27 »	14·337	1·4349	175 28·7		27 »	16·319	0·6999	70 31·9
	28 »	14·435	0·7126	177 22·4		28 »	16·331	1·5836	179 50·3
1892	24 Tage	16·052	0·4573	103 3·5	1896	24 Tage	14·761	0·8920	17 45·6
	25 »	16·057	0·2805	109 50·5		25 »	14·758	1·0139	27 50·5
	26 »	16·063	1·0573	218 9·2		26 »	14·759	0·6548	128 39·0
	27 »	16·062	0·6650	332 7·5		27 »	14·763	0·4469	293 0·5
	28 »	16·055	0·3175	139 19·5		28 »	14·675	1·4942	78 39·7
1893	24 Tage	17·074	1·4004	137 51·8	1897	24 Tage	13·660	1·0485	319 37·5
	25 »	17·104	0·4710	118 23·2		25 »	13·654	1·0655	63 37·6
	26 »	17·108	0·6768	170 14·2		26 »	13·654	0·1156	248 45·9
	27 »	17·098	0·0638	57 19·5		27 »	13·661	0·8098	137 54·3
	28 »	17·093	1·3346	64 4·7		28 »	13·650	0·3463	73 11·5
1894	24 Tage	16·583	0·8338	180 1·4	1898	24 Tage	12·522	0·5496	222 55·8
	25 »	16·592	0·6465	278 24·1		25 »	12·515	1·0472	171 54·5
	26 »	16·675	0·1831	26 57·1		26 »	12·519	0·5345	247 9·0
	27 »	16·580	0·8377	350 36·5		27 »	12·513	0·7444	46 6·8
	28 »	16·579	0·3845	30 51·5		28 »	12·534	1·2827	231 24·1

Jahr	Gruppe	b_0	b_1	v
1899	24 Tage	11'439	0'2152	102° 59'4
	25 »	11·447	1·3866	326 53·8
	26 »	11·445	1·2236	273 20·7
	27 »	11·443	0·8400	203 34·5
	28 »	11·445	1·7375	225 45·0
1900	24 Tage	9·967	0·1298	300 29·0
	25 »	9·964	0·4569	92 19·6
	26 »	9·965	0·4379	273 26·7
	27 »	9·970	0·6157	308 14·7
	28 »	9·967	0·4745	229 27·0
1901	24 Tage	9·017	0·4190	24 1·7
	25 »	9·019	0·3404	245 29·5
	26 »	9·018	0·6739	255 20·0
	27 »	9·020	0·4456	215 7·5
	28 »	9·019	0·2225	210 42·9

Tafel III.

Bestimmungsgleichungen zur Berechnung der Konstanten der Formel:

$$A = \alpha + \beta\,(T - 25) + \gamma\,(T - 25)^2.$$

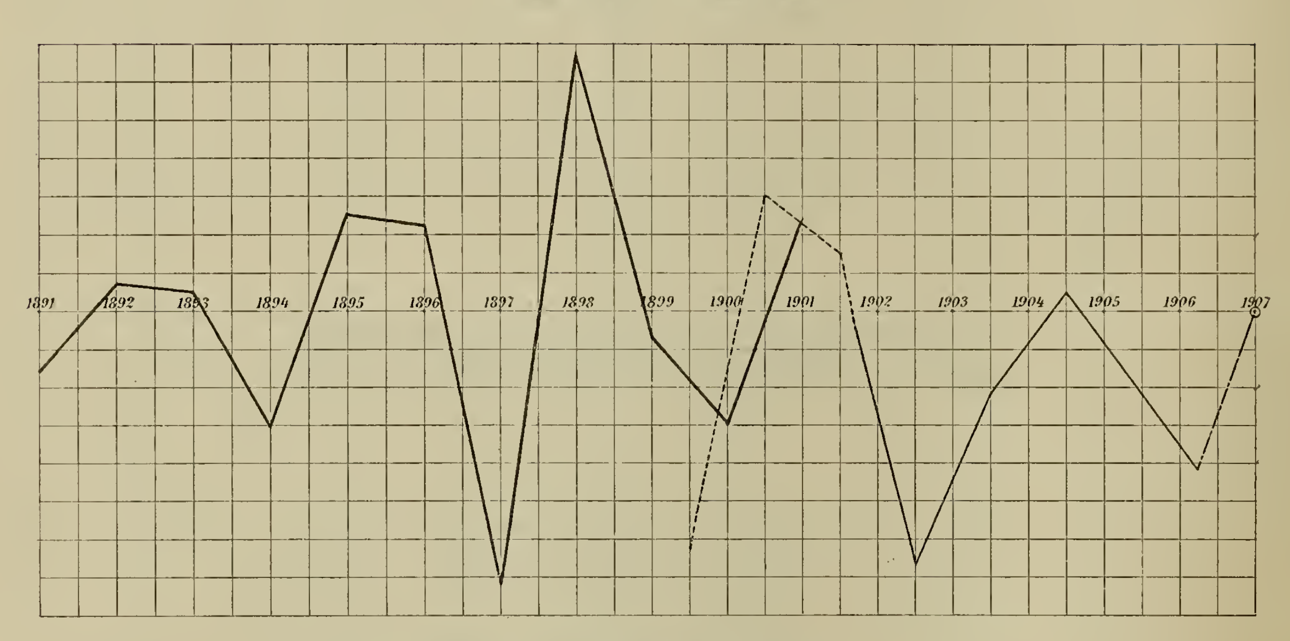
	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901
$\alpha - \beta + \gamma =$	0·3401	0·4573	1·4004	0·8338	1·2491	0·8920	1·0485	0·5496	0·2152	0·1298	0·4190
$\alpha =$	0·5843	0·2805	0·4710	0·6465	0·3156	1·0139	1·0655	1·0472	1·3866	0·4569	0·3404
$\alpha + \beta + \gamma =$	1·1084	1·0573	0·6768	0·1831	0·8523	0·6548	0·1156	0·5345	1·2236	0.4379	0·6739
$\alpha + 2\beta + 4\gamma =$	1·4349	0·6650	0·0638	0·8377	0·6999	0·4469	0·8098	0·7444	0·8400	0·6157	0·4456
$\alpha + 3\beta + 9\gamma =$	0·7126	0·3175	1·3346	0·3845	1·5836	1·4942	0·3463	1·2827	1·7375	0·4745	0·2225

Werte der Konstanten α, β und γ, sowie der Amplitude A.

Jahr	α	β	γ	A
1891	+ 0·8287	+ 0·46389	— 0·15217	1·182
1892	+ 0·6529	+ 0·22628	— 0·10789	0·672
1893	+ 0·5874	— 0·56554	+ 0·25583	0·275
1894	+ 0·6060	— 0·15448	+ 0·04187	0·463
1895	+ 0·6244	— 0·31543	+ 0·21038	0·507
1896	+ 0·6958	— 0·22226	+ 0·14300	0·607
1897	+ 0·7944	— 0·26360	+ 0·04879	0·438
1898	+ 0·6579	+ 0·00148	+ 0·05743	0·658
1899	+ 1·1719	+ 0·93214	— 0·34117	1·809
1900	+ 0·3920	+ 0·19062	— 0·05303	0·563
1901	+ 0·5298	+ 0·09276	— 0·06077	0·565

Graphische Darstellung der Rotationsgeschwindigkeiten.

1° = 50 *mm*; 1 Jahr = 10 *mm*.



——— magnetische Reihe, Potsdam.

——— spektroskopische Reihe, Edinburg.

- - - - - spektroskopische Reihe, Upsala.

⊙ spektroskopische Reihe, Mt. Wilson.